

気候モデルを利用した日本列島洪水リスク評価

FLOOD RISK EVALUATION IN THE JAPANESE ISLANDS BY CLIMATE MODEL

佐藤 歩¹・川越清樹²・風間 聡³・森杉壽芳⁴

Ayumu SATO, Seiki KAWAGOE, So KAZAMA and Hisayoshi MORISUGI

¹学生会員 東北大学大学院環境科学研究科(〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-20)

²正会員 博(環境科学) 東北大学大学院環境科学研究科(〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-20)

³正会員 博(工) 東北大学大学院環境科学研究科(〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-20)

³フェロー会員 博(工) 東北大学大学院経済学研究科(〒980-8576 宮城県仙台市青葉区川内27-1)

Flood damages were estimated by the flood simulation model and cost-benefit for land use types. Economical values in each land use are obtained from the flood control and the economic research manual (MLIT, 2005) with two GCMs, which are MIROC and RCM. The results obtained are as follows; 1) return period of extreme rainfall increases in exponential, and extreme rainfall with 50 years return period will change for 20 years return period in MIROC when the future, and change for 36 years return period in RCM. 2) the damage that can be expected by the rainfall of 50 years return period is larger than the benefit, and the difference is 740 billion yen in RCM, and 670 billion yen in MIROC. 3) a necessary cost will be 321.7 billion yen in RCM when the future, and be 291.3 billion yen in MIROC.

Key Words: flood damage, land use, flood simulation, economic loss, climate model

1. 序 論

近年, 地球温暖化に伴う気候変動への対応に, 社会の関心が寄せられている. 2007年2月に公表された気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第4次評価報告書¹⁾によると, 温暖化の緩和策には限界があり, 緩和策を行ったとしても気温の上昇は数世紀続くことが指摘されている.

日本においては, 集中豪雨の頻度, 量ともに増加することが見込まれる. 例えば, 気象庁・気象研究所の地域気候モデルによる研究成果²⁾によると, 100年後の100年確率日降水量は, 現在に比べ, 全国的に20%程増加することが見込まれている. この傾向と同様の現象が, 平成16年7月の新潟・福井豪雨でもみられており, これらの地域の河川では洪水リスクが高まる可能性を示している. このような過去の災害実績を踏まえ, 将来起こりうる気象条件の変化や, それらが社会に与える様々な影響を評価し, 地球温暖化に対する適切な対策を講じることに取り組まなければならない.

この評価には, 気候変動による適応費用を算出する必要がある. 地球温暖化研究による経済影響研究は, 「温暖化による経済影響評価」と「温暖化対策による経済影響評価」の二つに大別される. 前者は温暖化による経済損失を算出した研究である. さらに前者は, (1) 直接的な被害費用および対策費用の評価^{3), 4)}, (2) 市場型の影響(市場が存在する財やサービスの生産と消費への影

響)を考慮した被害費用の評価⁵⁾, (3) 非市場型の影響(市場が存在しない財やサービスの生産と消費への影響)を考慮した被害費用の評価⁶⁾に分類される. 直接的な被害費用および対策費用の計測を行った伊藤・根木³⁾は, 海面上昇に伴う運輸省所管の港湾区域における浸水被害ポテンシャルの推計および港湾施設・沿岸保全施設での対策費用を評価した. 現状では, 高潮・津波災害時に海面以下となる面積は6400km², 人口は1400万人, 資産は120兆円と推計された. そして, 1mの海面上昇が生じた場合では, それぞれ7800km², 1730万人, 150兆円の被害に拡大することを予測した. この被害を防ぐための対策として施設の嵩上げと改築にかかる費用は12兆円(港湾施設: 8兆円, 海岸保全施設: 4兆円)と評価された. この研究では概算的に潜在的な最大被害を計算し, 人為的に保護すべき土地の面積と重要度を示している.

しかしながら, 温暖化対策による経済影響評価は, 陸域における浸水被害の適応費用といった議論には至っておらず, 海面上昇の水位を設定し, 予想される津波や高潮による浸水被害を算出し対策費用の算出を試みる, といった沿岸域における議論にとどまっている.

また, 将来の気象条件の変化を考慮する上で, 温暖化予測技術が重要となるが, これまでの研究では, 地球規模や大陸規模での100年後の気候変化予測程度にとどまっていた. しかし, 近年のコンピューター処理能力の

飛躍的向上とシミュレーション技術の発達に伴い、時間スケール・空間スケールの高解像度化が進み、その結果、数十km格子・日単位の予測結果を利用する事も可能となってきた。

本研究では、河川域を対象に日本全土において整備された現在気候と将来気候の降雨極値データを用い、河川の外水氾濫による被害の定量化を行った。図-1に本研究の流れを示す。

2. データセット

氾濫計算に、標高、土地利用、再現期間の降雨極値の数値地型情報を用いる。これらは、すべて $1\text{km} \times 1\text{km}$ の解像度のグリッドセルデータである。氾濫計算の結果も 1km^2 の解像度による分布図となることから、浸水被害額の算定も同解像度の結果で示される。 1km^2 の解像度は、多種の社会基盤情報が用意されている。したがって、社会リスクの算定および対策整備の分配の評価に利用しやすい解像度である。

(1) 地図情報データ

標高データは、国土数値情報のKS-META-G04-56M データに格納された 1km^2 の平均標高値を用いた。

土地利用データは、国土数値情報の KS-META-L03-09M データに格納された 1km^2 の土地利用情報から、各グリッドセル内において、最も占める割合が多い土地利用をそのグリッドセルにおける土地利用と設定した。

(2) 降雨データ

1) 現在気候降雨極値データ

降雨極値の数値地理情報はAMeDAS観測所における1980年から2000年の24時間降水量データとメッシュ気候値2000(発行：気象庁)を利用して作成され、本研究ではこのデータ(1980年-2000年)を現在気候に対応した降雨極値データとする。これは、牛山らが検証した降雨極値と暖候期平年値の関係のアルゴリズムを基に開発した降雨極値の算出方法から⁸⁾データを得た。手順の概要はa)からc)のとおりである。

- AMeDAS 観測所毎に経年の最大 24 時間降雨量を頻度解析し、再現期間に対する 24 時間降雨量を求める。頻度解析には、確率分布型として極値分布である GEV(Generalized Extreme Value) 分布、母数推定法として PWM(Probability Weight Moment)法を用いる。
- 再現期間毎の降雨極値と AMeDAS 観測所の位置するメッシュ気候値の関係を気候タイプ毎の回帰式で示す。本研究に用いる降雨の気候は最大月降水量の該当する季節から春型、夏型、秋型、冬型の 4 種類に分類される。春季に最大降雨量を示す地域は、薩南諸島以南のみであること、この地域の夏季と春季の降雨差はほとんど

データセット (メッシュサイズは全て $1\text{km} \times 1\text{km}$)

- ・地図情報データ：標高データ、土地利用データ
- ・降雨データ：降雨極値分布データ (再現期間5年, 10年, 30年, 50年, 100年)

・洪水被害額の算出

- ・二次元不定流モデルを用い、再現期間毎に氾濫計算を実施(3章)
- ・治水経済調査マニュアルを参考に、土地利用毎の被害額単位を作成(4章)

・災害実績を用いた値の検証

- ・平成16年新潟豪雨の実績被害との検証を行い、流域単位で概ね再現できていることを確認⁷⁾

・年平均被害期待額の算出(6章)

- ・現在再現期間毎の年平均被害期待額(表-4)
- ・将来再現期間毎の年平均被害期待額(表-6)
- ・将来再現期間50年降雨により生じる便益と被害を定量化(6章)

・将来気候における確率降雨データ(2章)

- ・現在気候と将来気候における再現期間毎の降雨極値(図-4)

・気候変動対策算出(7章)

- ・費用便益比実績調査
- ・国土交通省平成20年度河川局予算案との比較

図-1 本研究の流れ

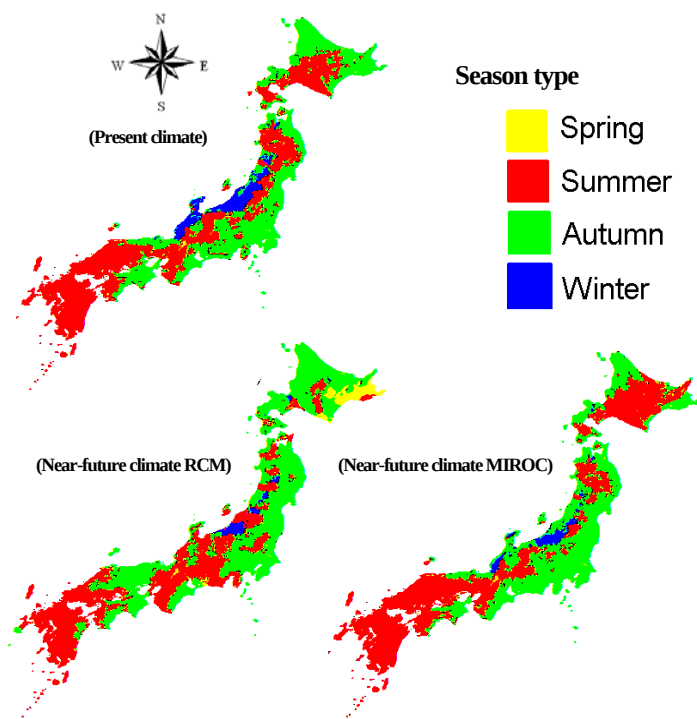


図-2 降水の気候タイプ分布図

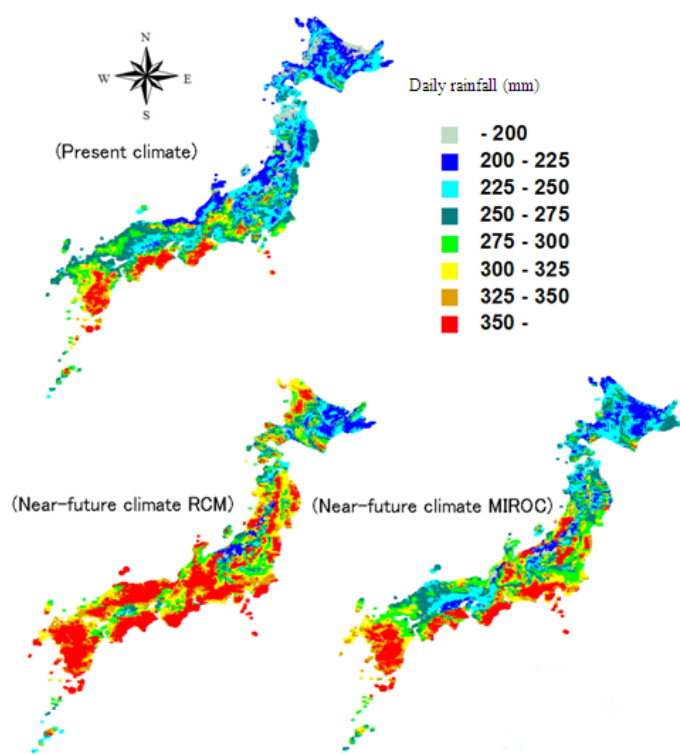


図-3 再現期間50年の降雨極値分布図

ないこと理由から夏型に統合することとした．現在気候と将来気候における降水の気候タイプの分布図を図-2 に示す．気候タイプの春と夏型，秋型，冬型毎の暖候期中の最大月降水量と，再現期間に対する降雨極値から，気候に応じた回帰式を求める．降雨極値は日本列島各地の AMeDAS 観測所 1024 箇所のデータから求める．また，1km² の解像度による 24 時間降雨極値の数値地理情報を，AMeDAS 観測所毎の降雨極値とメッシュ気候値 2000 に格納された月降水量を利用して作成した．表-1 に各気候タイプにおける暖候期中の月最大降雨量と降雨極値の関係要素を示す．

- c) 回帰式にメッシュ気候値を代入することで，再現期間に対する降雨極値の分布データが作成できる．図-3 に再現期間 50 年の降雨極値分布を示す．

2) 将来気候降雨極値データ

将来気候の降雨極値分布データを作成する上で，本研究ではIizumiら⁹⁾が統計的ダウンスケーリングを行った解像度1km×1kmの月降水量平年値データを用いた．その中で，気候予測モデルとしてSRES(Special Report on Emission Scenario)がA2(多元化型社会)の地域気候モデルMRI-RCM20-Ver.2(気象庁・気象研究所)，SRESがA1B(化石燃料・非化石燃料のバランス重視の高成長型社会)のMIROC(the Model for Interdisciplinary Research on Climate；国立環境研究所・東京大学気候システム研究センター・海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター)のデータを利用した．A1Bシナリオは気温上昇予測の中間値(2090年-2099年；1.7 から4.4)，A2シナリオは気温上昇の概ね上限(2090年-2099年；2.0 から5.4)を示す．月降水量平年値から，月最大降水量平年値を抽出し，降雨極値算出線形式モデルに代入することで，再現期間の降雨極値を導くことが可能となる．解析には，川越らが作成した中間気候の降雨極値分布データを利用した¹⁰⁾．将来の気候変化の条件として2050年に対応する中間気候(MRI-RCM20-Ver.2 の場合2031年から2050年のデータ，MIROCの場合2036年から2065年のデータ)を対象にする．図-3に再現期間50年の降雨極値分布を示す．

3．氾濫モデル

本研究では，堤防やポンプ場といった河川構造物を考慮せず，平均標高値のみで表現された河川に対して氾濫シミュレーションを行う．これは，規模の違う洪水による被害額の差を考えることで治水施設の便益が計算できるという考えに基づいたものであり，治水計画に利用される手法である．本手法によって広域の対象洪水のポテンシャル治水便益を知ることが可能となる．したがって，

表-1 暖候期の月最大降水量24時間降雨極値の関係要素

再現期間	季節型	相関係数	回帰式	
			係数	切片
10年	春型・夏型	0.66	0.37	53.39
	秋型	0.77	0.60	26.68
	冬型	0.71	0.36	39.91
30年	春型・夏型	0.69	0.53	88.10
	秋型	0.80	0.94	38.42
	冬型	0.67	0.51	67.43
100年	春型・夏型	0.64	0.64	121.37
	秋型	0.70	1.19	52.11
	冬型	0.62	0.64	89.24

流出域を定義せず，日本全域を氾濫原として氾濫モデルを適用した．氾濫水は標高の低い部分へと流れ込むため，河道に戻り排除される．

これまで，既往の災害履歴に応じて堤防は整備され，地域の社会的な保全重要度に合わせて設計基準が設けられてきた．本研究では，戦後60年で再現期間50年までの降雨に対する日本の河川整備事業は完成したと仮定し，各再現期間と被害額の差をとる検討を行った⁷⁾．本来治水整備によって防御されている氾濫域から，降雨極値の増加によって新たに対応が必要となる氾濫面積の増加分の定量化をすることで，将来の影響を導くことにした．また，筆者らは以上の手法によって得られた結果を，平成16年新潟・福島豪雨と比較・検証し，流域単位での評価においては実績被害を概ね再現できているとの結果を得ている⁷⁾．

モデルの形式は，氾濫流の伝播現象を再現することができる二次元不定流モデルを選択した¹¹⁾．モデルを(1)から(4)に示す．

連続方程式

$$\gamma \frac{\partial D}{\partial t} + \frac{\partial \gamma M}{\partial x} + \frac{\partial \gamma N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

運動方程式

(x方向)：

$$\lambda \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{MN}{D} \right) + \gamma g D \frac{\partial (D+h)}{\partial x} + \gamma g n^2 \frac{M \sqrt{M^2 + N^2}}{D^{7/3}} + \frac{1}{2} \frac{(1-\gamma)}{B} C_D \frac{M \sqrt{M^2 + N^2}}{D} = 0 \quad (2)$$

(y方向)：

$$\lambda \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{N^2}{D} \right) + \gamma g D \frac{\partial (D+h)}{\partial y} + \gamma g n^2 \frac{N \sqrt{M^2 + N^2}}{D^{7/3}} + \frac{1}{2} \frac{(1-\gamma)}{B} C_D \frac{N \sqrt{M^2 + N^2}}{D} = 0 \quad (3)$$

$$\lambda = \gamma + (1-\gamma) C_M \quad (4)$$

ここで， x ：東向きの座標， y ：北向きの座標， t ：時間， D ：水深， h ：標高， M ， N ： x ， y 方向の単位幅流量， g ：重力加速度， n ：マニングの粗度係数， $(1-\gamma)$ ：家屋占有率， B ：家屋の平均寸法， C_M ：家屋の付加質量係数， C_D ：家屋の抗力係数であ

表-3 土地利用毎の浸水被害額単位

土地利用	土地利用毎の被害額単価
田	田被害(千円)=単位面積当たりの水稻年収量の全国平均値(t/km ²)×米の単位評価額(千円/t)×浸水面積(km ²)×浸水深別被害率
畑地	畑地被害(千円)=単位面積当たりのトマト年収量の全国平均値(t/km ²)×トマト評価額(千円/t)×浸水面積(km ²)×浸水深別被害率
建物用地	建物用地被害=住宅地被害+事業所被害 住宅地被害=家屋被害+家庭用品被害 家屋被害(千円)=都道府県別家屋1km ² 当たり評価額(千円/km ²)×浸水面積(km ²)×浸水深別被害率 家庭用品被害額(千円)=1世帯当たりの評価額(千円/世帯)×浸水世帯数(世帯)×浸水深別被害率 事業所被害=家屋被害+償却・在庫資産 償却資産被害額(千円)=事業所従業者1人当たりの償却資産平均値(千円/人)×浸水影響従業者数(人)×浸水深別償却資産被害率 在庫資産被害額(千円)=事業所従業者1人当たりの在庫資産平均値(千円/人)×浸水影響従業者数(人)×浸水深別在庫資産被害率
ゴルフ場	ゴルフ場被害=償却資産+在庫資産(サービス業) 償却資産被害額(千円)=サービス業従業者1人当たりの償却資産評価額(千円/人)×影響従業者数(人)×浸水深別被害率 在庫資産被害額(千円)=サービス業従業者1人当たりの在庫資産評価額(千円/人)×影響従業者数(人)×浸水深別被害率
新幹公用地	新幹公用地被害=一般資産被害額×一般資産被害額に対する公共土木施設の被害率 一般資産被害額=家屋被害+家庭用品被害+事業所償却・在庫資産被害額
森林	浸水に伴う被害はないものと仮定し、被害額は考慮しない。
荒地	
その他の用地	
河川地及び湖沼	
海浜	
海水域	

表-2 土地利用ごとの粗度係数一覧

土地利用番号	土地利用	粗度係数
1	田	0.06
2	その他の農用地	0.05
3	森林	0.06
4	荒地	0.05
5	建物用地	0.05
6	幹線交通用地	0.047
7	その他の用地	0.05
8	河川地及び湖沼	0.03
9	海浜	0.03
10	海水域	0.03
11	ゴルフ場	0.05

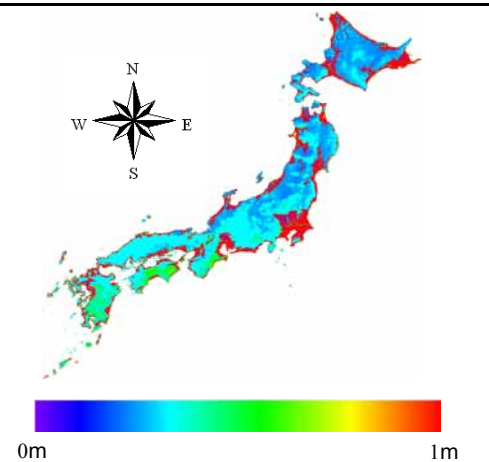


図-4 再現期間100年の確率降雨に対する最大浸水深分布

表-4 現在再現期間毎の年平均被害期待額（単位：億円）

再現期間 (年)	年平均 超過確率	被害額	区間平均 被害額	区間確率	年平均被害 期待額	累計
5	0.20	387,033	(A)	(B)	(A×B)	(ΣA×B)
			467,636	0.100	46,764	46,764
10	0.10	548,238	658,919	0.067	43,928	90,691
			839,262	0.013	11,190	101,882
30	0.03	769,600	1,016,959	0.010	10,170	112,051
50	0.02	908,923				
100	0.01	1,124,994				

いた。表3に項目毎の計算方法を説明する。

5．解析結果

作成した各メッシュの降雨極値を86,400(60×60×24)で除し、毎秒1様に与えた。氾濫計算の結果として、図-4に再現期間100年の確率降雨に対する氾濫計算の結果による、各グリッドセルの最大浸水深の分布を示す。氾濫計算の基礎データとして使用した標高データと比較すると、標高の低い関東の広い範囲に、浸水深の領域が認められる。また、近畿以南は比較的浸水領域が狭い傾向を示す。ただし、再現期間100年の降雨極値分

る。家屋は正方形と想定して $C_M = 0.2$ 、 $C_D = 1.0$ とした。 n 、 γ 、 B は土地利用に応じて値を変化させる。家屋の占有率は市街地で大きい傾向があるが、家屋の平均寸法は場所による傾向はみられないことが認識されている¹²⁾。土地利用が建物用地の場合、家屋の平均寸法は一定とした。本モデルでは、粗度係数は水深によって変化するとし、水深がある程度深くなると底面の影響は無視できるため、粗度係数はその土地利用による値となる¹²⁾。粗度係数は、水理公式集¹³⁾を参考に設定した(表-2参照)。

4．浸水被害額単価

筆者ら⁷⁾は、国土数値情報 KS-META-L03-09Mデータに格納されている15の土地利用分類に従い、治水経済調査マニュアル¹⁴⁾の「直接被害の対象資産」を参考に、土地利用ごとの計算手順を下記のように分類した。ここで用いる土地利用は、(1)田 (2)畑地 (3)建物用地 (4)ゴルフ場 (5)幹線交通用地 (6)森林 (7)荒地 (8)その他の用地 (9)河川地及び湖沼 (10)海浜 (11)海水域 とする。計算式は治水経済調査マニュアル¹⁴⁾で示されている手法を用

布と比較すると、九州、四国地方といった降雨極値の大きい地域は、最大浸水深も大きい特徴を持つ。一方、相対的に降雨極値の小さい地域である北海道や東北地方では、最大浸水深の分布も小さい傾向が現れている。このように、解析結果から地域的な洪水の特徴を明らかにした。

6. 年平均被害期待額の算出

解析で得られた氾濫計算結果から、被害額単位を用いて被害額を算出し、治水経済調査マニュアル¹⁴⁾の年平均被害軽減期待額算定手法を参考に、確率区間毎に年平均被害期待額としてまとめた⁷⁾。結果を表-4に示す。このように再現期間毎の被害を定量的に対比させることで、降水量や確率規模の違いによって期待される被害の大きさを把握することができる。また、算出した値は治水計画や治水投資計画を行う際の基礎資料となる。再現期間100年までを考慮した年平均被害期待額は、約11兆円である。

しかし、被害期待額を算出する際、治水経済調査マニュアル¹⁴⁾では、再起確率が現在も将来も変わらないことを前提としているが、本研究のように温暖化に対して適用する場合、この前提が崩れることが懸念される。従って、川越らが作成した将来気候降雨データ¹⁰⁾を用いて、再起確率の変動調査を行った。使用した将来気候降雨データの概要は、2章参照とする。降雨極値データの再現期間5年、10年、30年、50年、100年と、それぞれの再現期間に対応した降雨極値の日本列島全メッシュ平均値の関係を回帰式で表現したものが図-5である。作成した回帰式から、再現期間と降雨極値の間には高い相関が見られ、ほぼ指数関数的増加することが明らかとなった。図-5における近似対数式より、現在気候における再現期間(5年、10年、30年、50年、100年)が、将来気候においてどのように変動するのかを求めた。結果を表-5に示す。この結果を用いて算出した年平均被害期待額を表-6に示す。将来気候における再現期間50年の被害額は、筆者らによって作成された降雨極値の増加率と被害額の増加率の関係式⁷⁾から算出した。3章で述べたように、本解析では各再現期間と被害額の差をとる検討を行った。将来再現期間50年降雨は、現在再現期間50年降雨と比較して、降雨量が増大する。そのため、現在の治水施設では防御し切れずに被害の増加が見込まれる。これは、現在再現期間50年までの年平均被害期待額と将来再現期間50年までの年平均被害期待額の差をとることで定量化される。一方で、現在再現期間50年降雨は、表-4に示すように、将来気候においては再現期間が短くなる。それに伴い現在再現期間50年と同規模の洪水による被害期待額も増加するため、現在の治水施設による便益も生じる。これは、現在再現期間50年までの年平均被害期待額と、将来気候でそれと同規模の洪水(RCM:20年、MIROC:

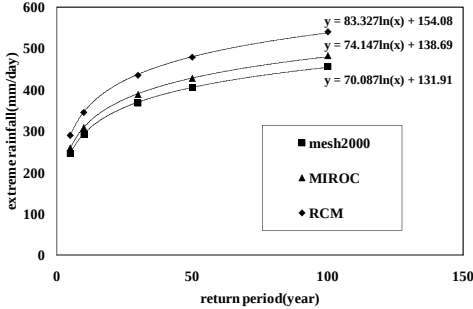


図-5 現在気候と将来気候における再現期間毎の降雨極値(mesh2000:現在気候に対応した再現期間毎の降雨極値)

表-5 将来気候における降雨極値再現期間の変動(単位:年)

現在気候 再現期間	将来気候再現期間	
	RCM	MIROC
5.0	3.0	4.3
10.0	5.3	8.0
30.0	13.1	22.1
50.0	20.3	36.4
100.0	37.9	73.1

表-6 将来再現期間毎の年平均被害期待額(単位:億円)

RCM (SRES:A2)

再現期間 (年)	年平均 超過確率	被害額	区間平均 被害額	区間確率	年平均被害 期待額	累計
3.0	0.33	387,033	(A)	(B)	(A×B)	(ΣA×B)
5.3	0.19	548,238	467,636	0.145	67,645	67,645
13.1	0.08	769,600	658,919	0.112	74,025	141,671
20.3	0.05	908,923	839,262	0.027	22,723	164,393
37.9	0.03	1,124,994	1,016,959	0.023	23,264	187,657
50.0	0.02	1,202,297	1,163,646	0.006	7,430	195,087

MIROC (SRES:A1B)

再現期間 (年)	年平均 超過確率	被害額	区間平均 被害額	区間確率	年平均被害 期待額	累計
4.3	0.23	387,033	(A)	(B)	(A×B)	(ΣA×B)
8.0	0.13	548,238	467,636	0.108	50,298	50,298
22.1	0.05	769,600	658,919	0.080	52,550	102,848
36.4	0.03	908,923	839,262	0.018	14,919	117,767
50.0	0.02	957,294	933,108	0.007	6,973	124,739
73.1	0.01	1,124,994	1,041,144	0.006	6,580	131,319

36年)までの年平均被害期待額の差で求められる。

以上の考えを基に、再現期間50年までの年平均被害期待額の累計を比較すると、再起確率の変化によって生じる便益は、RCMでは約6兆2,500億円、MIROCでは約1兆5,900億円、新たに期待される被害は、RCMでは約9兆3,200億円、MIROCでは約2兆2,900億円である。RCMでは3兆700億円、MIROCでは7,000億円だけ便益に比べ被害が大きく、金額のみで考えた場合、年平均でこれだけの便益を伴う治水整備が必要となる。

7. 費用便益比実績調査および対策費算出

6章で求めた年平均被害期待額から、日本全体の気候変動への対策費用を算出するため、現状の河川整備公共事業における費用便益比(以下B/C)の実績調査を行った。各都道府県の値を全て調査するのは困難であるため、国土交通委員会が、平成18年度公共事業予算に係る再評価として発表している河川事業に係るB/Cの中位である2.3を用いた¹⁵⁾。この値を基に、将来気候における再現期間50年降雨への日本全体の年平均で必要な対策費用を求めると、RCMでは1兆3,300億円、MIROCでは3,000億円という結果を得た。国土交通省平成20年度河川局予算案¹⁶⁾では、国土基盤河川に対して約6,700億円、地域河川に対しては約3,000億円、合計で約9,700億円の事業費が見積もられている。この事業費予算案に対して、今回算出した値はRCMでは約3割を占め、MIROCでは事業費のさらに約4割増しとなる。水害統計¹⁷⁾によると、最近10年間の年間の水害被害は数千億円である。また、気候変動に適応した治水対策検討小委員会の中間とりまとめ¹⁸⁾によると、現計画が目標としている治水安全度は、降水量の変化によって著しく低下していくことが予測されており、本研究の成果は、これを支持するものである。

加えて、投資余力の限られている中で、特に脆弱化が予想される施設や地域、人口、資産や中枢機能の集積する地域における予防的措置への重点投資を考える必要がある。従って、今後は、都道府県毎の年平均被害期待額および対策費、現行の治水整備および治水整備率、将来人口密度等の情報から、治水優先度を決定する。優先度の高い都道府県については、対策費や現行の治水対策および整備率、土地利用等を踏まえた上で、温暖化への適応策を提案する方針である。

8. 結論

降雨極値の分布データと氾濫モデルを用いて全国で氾濫シミュレーションを行い、その結果と作成した被害額算定法から想定される浸水被害を再現期間毎に評価し、年平均被害期待額としてまとめた。また、MIROC とRCM の将来気候降雨データを用いて、将来気候における降雨極値再現期間の変動を考慮した将来再現期間における年平均被害期待額を求め、気候変動による便益と被害を定量化した。本研究から以下の結論を得た。

- 1) 再現期間毎の降雨極値は、現在気候、将来気候ともに指数関数的に増加し、将来気候における現在再現期間 50 年降雨極値は、RCM では 20 年、MIROC では 36 年に相当する。
- 2) 再現期間 50 年降雨によって期待できる被害と便益を将来年平均で比較した場合、被害の方が大きく、その差額はRCM では3兆7,000億円、MIROC では7,000億円である。
- 3) 2)で得られた被害と便益の差額分の効果を、年平均で期待できるような治水整備事業を考えた場合、必

要な対策費は、RCM では1兆3,300億円、MIROC では3,000億円である。

謝辞：本研究は、環境省地球環境研究総合推進費(S-4)：「温暖化の危険な水準及び温室効果ガス安定化レベル検討のための温暖化影響の総合評価に関する研究」と日本大学学術フロンティア推進事業の研究助成によって行われた。ここに記して謝意を示す次第である。

参考文献

- 1) 経済産業省、気象庁、環境省：IPCC第4次評価報告書統合報告書政策決定者向け要約, pp.1-24, 2007。
- 2) 和田一範, 村瀬勝彦, 富澤洋介：地球温暖化に伴う降雨特性の変化と洪水・渇水リスクの評価に関する研究, 土木学会論文集No.796 / -72, pp.23-37, 2005。
- 3) 伊藤隆夫, 根木貴史：海面上昇による影響の対応戦略の考え方について, 第1回地球環境シンポジウム講演集, pp.228-233, 1993。
- 4) S.Kitajima, T.Ito, N.Mimura, Y.Tsutuki, K.Izumi.: Impacts of sea level rise and cost estimate of countermeasures in Japan. in Vulnerability assessment to sea level rise and coastal zone management, Proceedings of the IPCC Eastern Hemisphere Workshop, pp.115-123, 1993。
- 5) 大野栄治：海面上昇による土地損失の影響の経済評価(タイの場合), 環境システム研究論文集, 28, pp.445-452, 2000。
- 6) H.Morisugi, E.Ohno, K.Hoshi, A.Takagi, Y.Takahashi.: Definition and Measurement of a Household's Damage Cost Caused by an Increase in Storm Surge Frequency Due to Sea Level Rise, Journal of Global Environment Engineering, 1, pp.127-136, 1995。
- 7) 佐藤歩, 川越清樹, 風間聡, 沢本正樹：降雨極値データを利用した気候変動に伴う全国浸水被害額評価, 水工学論文集, No.52, pp.433-438, 2008。
- 8) 川越清樹, 風間聡, 沢本正樹：数値地理情報と降雨極値データを利用した土砂災害発生確率モデルの構築, 自然災害科学, Vol.27, No.1。
- 9) Iizumi, T., M. Nishimori, and M. Yokozawa : Combined equations for estimating global solar radiation: Projection of radiation field over Japan under global warming condition by statistical downscaling, J. Agric.Meteor.,64,2008。
- 10) 川越清樹, 風間聡, 沢本正樹：将来気候モデルを利用した土砂崩壊リスク評価, 地球環境研究論文集, vol.16,pp.27-33,2008。
- 11) 町田宗一郎, 川越清樹, 風間聡, 沢本正樹, 横木裕宗, 安原一哉, 地球温暖化に伴う全国の浸水被害額評価, 地球環境シンポジウム講演論文集, vol.15, pp.155-160, 2007。
- 12) 風間聡, 長尾昌朋, 武藤裕則, 多田毅：土地利用を考慮した氾濫水理解析と予測, 平成16年度河川懇談会共同研究資料, 117p, 2005。
- 13) 土木学会：水理公式集, 丸善, 89p, 1999。
- 14) 国土交通省河川局：治水経済調査マニュアル(案), 91p, 2005。
- 15) 国土交通委員会：公共事業における費用便益分析の役割, 2007。
- 16) 国土交通省河川局：平成20年度河川局予算案概要, 2008。
- 17) 国土交通省河川局：平成20年版水害統計, 2008。
- 18) 社会資本整備審議会：水関連災害分野における地球温暖化に伴う気候変動への適応策のあり方について(中間とりまとめ), 2008。

(2008.9.30 受付)